ジルコン(U-Th)/He法の年代標準試料の探求: <u> 仁左平デイサイトにおける年代学的検討</u> 福田 将眞*・末岡 茂*・菅野 瑞穂*・ Barry P. Kohn**・田上 高広***

Exploration of the age standard zircon for (U-Th)/He method: Chronometric investigations of the Nisatai Dacite Shoma Fukuda*, Shigeru Sueoka*, Mizuho Kanno*, Barry P. Kohn** and Takahiro Tagami***

* 日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency

** メルボルン大学, University of Melbourne

*** 京都大学, Kyoto University

はじめに

放射年代測定における年代標準試料とは,対象とする年代測定法について,年代値が正確に決定・吟味され,分野内で広く受け入れられている試料を指す.年代標準試料は複数の厳格な基準(例えば,Hurford, 2019)に則って認定される.年代値が既知であるため,未知試料の年代測定時の基準となるほか,分析条件の妥当性の評価や,ラボ間でのデータ比較,測定者バイアスの補正など多くの用途が存在する.

熱年代学的手法の一つである(U-Th)/He法 (以下,He法)のうち,アパタイトやジルコ ンなどを対象とした場合は閉鎖温度が低温 (<200℃)の部類に分類される.したがっ て,地殻浅部から地球表層における比較的低温 の熱イベントの検出に用いられ(例えば,Ault et al., 2019),今日では世界中の広い地域に おいて山地の隆起・削剥や,堆積盆地の進化史 などの推定に応用されている.一方で,He年 代は鉱物中の親核種濃度の不均質や包有物

(Farley et al., 2011; Danišík et al., 2017), 放射線損傷 (Shuster et al., 2006; Guenthner et al., 2013), 結晶の粒径・形状 (Farley, 2000), などの複数の要因によりば らつくことが知られる.このように年代のばら つきに寄与する要因が多様であることや, フィッション・トラック (FT) 法と対象鉱物

が共通であることも相まって、He法における 年代標準試料は明確には定められておらず, FT 法の年代標準試料を流用している現状にある. ただし, FT法の年代標準試料として認定され ているFish Canyon Tuff (FCT) ジルコンで あっても, 単一粒子内の親核種濃度の不均質 (200~3500 ppm) によってジルコン He (ZHe) 年代がばらつくことが報告されて いる (Dobson et al., 2008) . このような事 態を憂慮し、最近ではHe法の標準試料の候補 となる新たなアパタイト (Wu et al., 2019; 2021) やジルコン (Tian et al., 2017; Li et al., 2017; Kirkland et al., 2020; Yu et al., 2020)の探求が進められている。これらの鉱 物試料はcmスケールの巨晶であり、測定時に は粒子を粉砕した破片を用いる。一方, He年 代測定の対象となる未知試料は、一般に数十~ 百µmスケールの粒子をgrain-by-grainで分析 するため, これらの試料が未知試料の分析に即 しているとは言い難い。本研究では、ZHe法の 年代標準試料の候補として仁左平デイサイト中 のジルコンに着目した。

試料・手法

仁左平デイサイトは,岩手県二戸市周辺に分 布する中新世流紋岩質凝灰岩である.長らく 「仁左平デイサイト」と呼称されてきたが,近 年, 辻野ほか (2018) による岩石学的検討の 結果, 流紋岩質に分類され, 下部の中新世堆積 岩と共に仁左平層として再定義された(本稿で は, 便宜上, 旧定義の仁左平デイサイトを使用 する). 仁左平デイサイトは年代学的検討が豊 富な地質試料であり, 従来からFT法の年代標 準ジルコンの候補として見なされ(角井, 1993), 豊富な年代学的検討が加えられてき た. これまでにジルコンFT (ZFT) 年代

(Tagami et al., 1995; Hasebe et al., 2013)
はもちろん,黒雲母のK-Ar年代 (Sudo et al., 1996)
やジルコンU-Pb年代 (Hasebe et al., 2013)
などの手法によって年代学的検討が行われ、すべての手法において22~21 Maの年代値を示している。また、ZFT長の分布から急冷試料と推定されている(Yamada et al., 1995)
ため、年代標準試料としての潜在性が期待される。

本研究では、2019年に採取した仁左平デイサ イト (NST19)から分離したジルコンを用い て、ZHe年代測定を実施した.本研究における 年代分析は、日本原子力研究開発機構東濃地科 学センターおよびメルボルン大学の2か所で実 施し、両研究室のデータの比較を試みた.加え て、2020年に再サンプリングを実施した仁左 平デイサイト2試料 (NST20, NST20b)に対 してアパタイトフィッション・トラック (AFT)年代測定を試みた.

結果・考察

まず、本研究で得られたNST19のZHe年代に ついて、東濃で得られたデータは加重平均年代 で20.7 ± 0.2 Ma (以降,誤差範囲は2 σ), メルボルン大で得られたデータは23.1 ± 0.6 Maとなり、先行研究で報告された年代値の範 囲である22~21 Maとは誤差範囲を考慮して も重複しない. 一方で、これらのデータ全てを 合算すると、21.5 ± 0.2 Maとなる(図1). 外れ値を除いた単粒子年代は15~40 Ma程度 まで広くばらつく(図1)が、測定粒子数を増 やすと既報値と整合的であることから、系統誤 差ではないランダムな誤差に起因していると推 察される.

次にAFT分析の予察的な結果を報告する. NST20で28.1 ± 6.0 Ma, NST20bで30.4 ± 6.0 Maとなり, 試料間で有意な年代値の差異 は認められない. 一方で, 閉鎖温度のより高い 他の年代計と比べて有意に古い年代値となっ た.

ZHe年代のばらつきおよび, AFT年代値の逆 転の要因について年代学的考察を加える。FCT の例では,年代のばらつきの原因は粒子内の親 核種濃度の不均質が寄与していると解釈されて おり (Dobson et al., 2008), 仁左平デイサ イト中のジルコンでも同様の可能性がある。一 方で、LA-ICP-MSによるU濃度の測定結果や、 U-Pb分析(長田ほか、2021)を実施した際の カソードルミネッセンス像から、親核種濃度の 不均質は比較的小さく(100~900 ppm),大 半の粒子では明瞭なゾーニングは確認されな かった.加えて,先行研究で報告された FCT (24~35 Ma: Dobson et al., 2008) より 年代のばらつきも明らかに大きい. したがっ て、これらの結果から仁左平デイサイトのZHe 年代のばらつきは親核種濃度の不均質のみでは 説明できないと解釈される。次に薄片観察の結 果から、仁左平デイサイトには異質岩片が混入 していることが明らかとなった(図2).この 異質岩片は仁左平デイサイトの給源となる火山 の噴火時に取り込んだ岩石の可能性がある。し かし、仁左平層下位の堆積岩の年代や、噴出時 の火道位置・噴火の時期や規模などについては 不明である(辻野ほか,2018).また,既往 研究のZFT分析からは外来結晶の影響は考えに くいため、ZHe年代やAFT年代も噴出時の加熱 によって年代がリセットされていると期待され るが、実際にはZHe年代のばらつきやAFT年代 の逆転などが観測され、予想に反する結果と なった. 冒頭で述べたように, 年代標準試料の 認定基準は多数の厳格な条件を満たす必要があ り、異質粒子の混入は年代の解釈が複雑化する ため、そのような可能性のある地質試料は推奨 されない(Hurford, 2019). したがって仁左 平デイサイトは年代がばらつくZHe法の年代標 準試料としては不適切であると結論付けた.た だし、ジルコンのU-Pb年代やZFT年代などは 単粒子年代のまとまりが良く、これらの分析に おいては応用できる可能性がある.また、ト ラック長の分布は典型的な単峰性の急冷パター ンを示す(Yamada et al., 1995)ため、同様 にトラック長分析時の標準試料としての適性は 認められる.

今後の展開として, Tagami et al. (2003)に おいてZHe法の予察的分析が実施され,単粒子 年代のまとまりが良いジルコン試料で検討を行 う予定である.具体的には兵庫県と鳥取県の県 境付近に分布する歌長流紋岩(宇都ほか, 1994)やZFT法の年代標準試料であるBuluk Tuff (Hurford & Watkins, 1987)やU-Pb法 の標準試料であるOD-3 (Iwano et al., 2013) などを対象とし,ZHe年代標準試料の候補の探 求を継続する.

謝辞

本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事 業「令和2年度高レベル放射性廃棄物等の地層 処分に関する技術開発事業(JPJ007597)(地 質環境長期安定性評価技術高度化開発)」の成 果の一部である.

引用文献

- Hurford, A.J., 2019. An historical perspective on fission-track thermochronology, in: Malusa, M.G., Fitzgerald, P.G. (Eds.), Fission-Track Thermochronology and Its Application to Geology. Springer, pp. 3–23.
- Ault, A.K. et al., 2019. Innovations in (U-Th)/He, Fission Track, and Trapped Charge Thermochronometry with Applications to Earthquakes, Weathering, Surface-Mantle Connections, and the Growth and Decay of Mountains. Tectonics 38, 3705-3739.
- Farley, K.A. et al., 2011. U and Th zonation

in apatite observed by laser ablation ICPMS, and implications for the (U-Th)/ He system. Geochem. Cosmochim. Acta, 75, 4515-4530.

- Danišík, M. et al., 2017. Seeing is believing: Visualization of He distribution in zircon and implications for thermal history reconstruction on single crystals. Sci. Adv. 3, 1–9.
- Shuster, D. et al., 2006. The influence of natural radiation damage on helium diffusion kinetics in apatite. EPSL, 249, 148-161.
- Guenthner, W.R. et al., 2013. Helium diffusion in natural zircon: radiation damage, anisotropy, and the interpretation of zircon (U-TH)/He thermochronology. Am. J. Sci. 313, 145-198.
- Farley, K.A., 2000. Helium diffusion from apatite: General behavior as illustrated by Durango fluorapatite. J. Geophys. Res. 105, 2903–2914.
- Dobson, K.J. et al., 2008. U and Th zonation in Fish Canyon Tuff zircons: Implications for a zircon (U-Th)/He standard. Geochim. Cosmochim. Acta 72, 4745–4755.
- Wu, L. et al., 2019. MK-1 Apatite: A New Potential Reference Material for (U-Th)/ He Dating. Geostand. Geoanalytical Res. 43, 301–315.
- Wu, L. et al., 2021. Reappraisal of the applicability of MK-1 apatite as a reference standard for (U–Th)/He geochronology. Chem. Geol. 575, 1–6.
- Tian, Y. et al., 2017. LGC-1: A zircon reference material for in-situ (U-Th)/He dating. Chem. Geol. 454, 80–92.
- Li, Y. et al., 2017. A Potential (U-Th)/He Zircon Reference Material from Penglai Zircon Megacrysts. Geostand.

Geoanalytical Res. 41, 359–365.

- Kirkland, C.L. et al., 2020. Dating young zircon: A case study from Southeast Asian megacrysts. Geochim. Cosmochim. Acta 274, 1–19.
- Yu, S. et al., 2020. Further Evaluation of Penglai Zircon Megacrysts as a Reference Material for (U-Th)/He Dating. Geostand. Geoanalytical Res. 44, 763–783.
- 辻野ほか,2018. 一戸地域の地質.地域地質研 究報告(5万分の1 地質図幅),産総研地 質調査総合センター,161 p.
- 角井,1993. 年代標準試料設定プロジェクトに ついて. FTNL第6号, 66-67.
- Tagami, T. et al., 1995. K-Ar biotite and fission-track zircon ages of the Nisatai Dacite, lwate Prefecture, Japan: A candidate for Tertiary age standard. Geochem. J. 29, 207–211.
- Hasebe, N. et al., 2013. Zeta equivalent fission-track dating using LA-ICP-MS and examples with simultaneous U-Pb dating. Isl. Arc 22, 280–291.
- Sudo, M. et al., 1996. Calibration of a new Ar analytical system for the K-Ar dating method and analytical method results of K-Ar age known samples. Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ. Ser. Geol. Mineral. 58,

21-40

- Yamada, R. et al., 1995. Annealing kinetics of fission tracks in zircon: an experimental study. Chem. Geol. 122, 249–258.
- Vermeesch, P., 2018. IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. Geosci. Front. 9, 1479–1493.
- 長田ほか,2021. マルチ鉱物年代スタンダード の可能性:東北日本仁左平層NSTジルコン の予察分析. JpGU2021, SGL22-P04.
- Tagami, T. et al., 2003. (U-Th)/He geochronology of single zircon grains of known Tertiary eruption age. Earth Planet. Sci. Lett. 207, 57–67.
- 宇都ほか,1994.山陰地方東部,鮮新統照来層 群火山岩類のK-Arおよびフィッショント ラック年代,地質学雑誌,100,787-798.
- Hurford, A.J., Watkins, R.T., 1987. Fissiontrack age of the tuffs of the Buluk member, Bakate formation, Northern Kenya: A suitable fission-track age standard. Chem. Geol. Isot. Geosci. Sect. 66, 209–216.
- Iwano, H. et al., 2013. An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U-Pb dating standard. Isl. Arc 22, 382–394.



図1. 東濃地科学センターとメルボルン大学で測定した仁左平デイサイトのZHe年代一覧. IsoplotR (Vermeesch, 2018)で描画. 縦軸は粒子年代(Ma),横軸は測定番号. すべての単粒子年代の幅は 2 g であり,水色の測定粒子は外れ値を示す. 中央の灰色の線は加重平均年代とその誤差を示す.



図2 NSF20 (上段) およびNSF22016でPR2 / の薄戸亭真…両試料とも施洗練署質凝灰岩の組織 を求す新(左薄,薄片内)窓裏変質思売黒雲母(中央)等異質岩片(岩)がみられる.